DOI：10.15951/j.tmgcxb.22050511

基于 BIM 和快速施工的城市高架预制钢混组合梁桥设计系统研发

施新欣[1] 陈莎莎[1] 崔小建[1] 曹炳勇[1] 曹 沛[1] 马天乐[2]

（1. 同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司，上海 200092；2. 上海同航土木工程科技有限公司，上海 200092）

摘要： 随着信息化与工业化快速融合发展，以装配式结构、数字化建管养为代表的城市桥梁建设，是行业绿色低碳发展的必然选择。然而城市桥梁因其复杂的建设需求，制约了桥梁专业化 BIM 正向设计软件的发展，反过来又进一步影响桥梁工程信息化与工业化的发展。鉴于此，以快速施工的城市高架预制钢混组合梁桥为背景，引入 BIM 技术，提出基于知识工程的多精度递进式三维设计方法，研发城市高架预制钢混组合梁桥正向设计系统，实现三维正向设计、工程算量，及通过数据交互实现图纸绘制、有限元计算的功能。该系统可以精准地完成道路路线数据转换、上下部结构快速合理地半自动化布置、构件零件级拆分和模型创建。通过实际工程项目，验证了所提出的方法和系统的可行性和实用性。

关键词： 建筑信息模型（BIM）；组合梁桥；设计系统；正向设计

中图分类号： TU201.4 **文献标识码：** A **文章编号：** 1000-131X（2023）10-0067-11

Research and development of design system for urban elevated prefabricated steel-concrete composite girder bridge based on BIM and accelerated construction technology

Shi Xinxin[1] *Chen Shasha*[1] *Cui Xiaojian*[1] *Cao Bingyong*[1] *Cao Pei*[1] *Ma Tianle*[2]

（1. Tongji Architectural Design Co., Ltd., Shanghai 200092, China;
2. Shanghai Tonghang Civil Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai 200092, China）

Abstract: With the rapid integration and development of informatization and industrialization, urban bridge construction incorporated with prefabricated structures and digital construction and maintenance technology becomes an inevitable option to meet the requirements of the green and low-carbon development for the industry. However, due to the complex requirements of urban bridge construction, the development of bridge professional forward design software using building information model (BIM) is restricted, which further affects the development of bridge engineering informatization and industrialization. In this paper, based on the background of the urban elevated prefabricated steel-concrete composite girder bridges using accelerated construction technology, a multi-precision progressive 3D design method is proposed based on knowledge engineering and BIM technology, and a forward design system for urban elevated prefabricated steel-concrete composite girder bridges is developed. In this forward design system, a set of functions is implemented including 3D forward design, engineering calculation, and drawing and finite element analyses through data interaction. Through this design system, it can accurately complete the conversion of road route data, the rapid and reasonable semi-automatic layout of upper and lower structures, the part-level splitting of members, and modelling. Finally, the proposed method and the design system are validated with practical engineering projects.

Keywords: building information model (BIM); composite girder bridge; design system; forward design

E-mail: sz22sxx@tjad.cn

作者简介： 施新欣，硕士，高级工程师

通讯作者： 陈莎莎，硕士，工程师

收稿日期： 2022-05-22

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

引 言

随着我国城市化进程的逐年加快，城市交通压力越来越大。为改善交通状况，各大城市相继修建大量的高架桥。而高架桥施工存在施工场地受限、劳动力需求大、环境影响大、交通干扰大等问题。因此，快速施工成为城市高架桥建设面临的迫切需求。

装配式结构因其标准化、工业化的特点可以较好地解决上述问题，其中钢混组合梁又以其自重小、承载力高、环境友好、施工周期短等特点广泛应用于城市高架桥建设中[1-2]。但是装配式结构对结构设计、加工和装配需要较高的精度，目前以二维图纸为信息载体的设计方式，不能完全发挥装配式结构的优点。而以建筑信息模型(Building Information Model，BIM)技术为基础的三维设计，其精准的设计成果，可以满足工厂数字化预制、现场智能化拼装的要求，可以提高装配式结构全生命周期信息化、数字化建管养水平。

以 BIM 技术为基础的三维设计在建筑、铁路、公路等领域已有较为系统的研究与应用[3-5]，而市政领域中的桥梁工程，因其建设环境复杂、结构形式标准化程度低、缺乏专业化三维设计软件等客观原因，三维设计仍在起步阶段。

因此针对城市高架桥跨径、宽度、线形多变的特点和快速施工需求，展开适用于城市高架预制钢混组合梁桥设计系统研发的工作是必要和迫切的。

1 城市高架预制钢混组合梁桥标准化设计

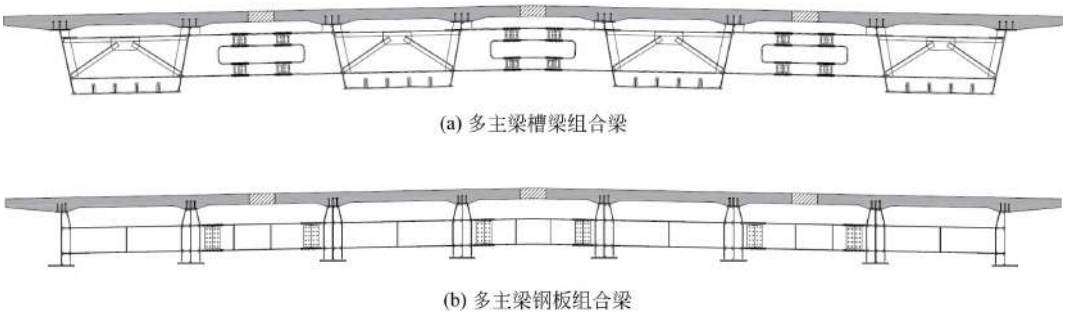
本文以城市高架中广泛采用的预制钢混组合梁桥为背景开展研究，上部结构以钢混组合槽梁和板梁为主，下部结构考虑混凝土桥墩和钢盖梁-混凝土立柱复合桥墩。

1.1 标准断面

城市高架一般以双向 4、6、8 车道整幅布置或双向 8 车道分幅布置，匝道通常采用 2 车道布置，桥面宽度在 8~33.5m 之间。钢混组合槽梁根数一般为 2~5 根，钢混组合板梁根数一般为 3~10 根，桥墩则采用独柱或双柱的形式。

1.2 上部结构

当跨径为 40m 及以下中小跨径时，上部结构考虑采用可整体吊装的简支结构体系，提高装配化施工速度；当跨径为 40m 以上时则采用受力更为合理的连续结构体系。上部多采用槽梁组合梁及钢板组合梁两种结构形式。为提高施工速度，降低混凝土现场施工对环境影响，桥面板采用工厂预制，现场拼装。横向联系结合施工及成桥受力需要，可采用实腹式、框架式、桁架式等。典型上部结构见图 1。



(a) 多主梁槽梁组合梁

(b) 多主梁钢板组合梁

图 1 城市高架典型组合梁结构形式

Fig. 1 Typical composite beam structure for urban viaduct

1.3 下部结构

桥墩采用预制装配式盖梁和立柱，从材料上分，盖梁有混凝土结构和钢结构两种形式；从结构上分包括平头盖梁和倒 T 盖梁。立柱采用常规的混凝土立柱。其中，钢盖梁-混凝土立柱复合桥墩下部结构见图 2。

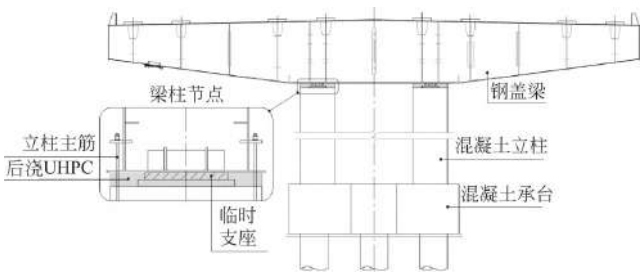


图 2 钢盖梁-混凝土立柱复合桥墩

Fig. 2 Composite pier with steel cap beam and concrete column

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2　预制钢混组合梁桥设计系统框架与特点

2.1　关键需求

一个软件系统的软件架构最终设计成什么样，是由软件需求决定的。但把所有需求全部确定下来之后再开始下游活动是不现实的。一是时间有限，二是随着认识和实践的深入，需求是在发展变化的。因此，需要集中精力整理出系统的关键需要，由关键需求决定系统架构。

本系统的关键需求是要实现城市高架预制钢混组合梁桥的三维正向设计，即实现在没有二维设计成果的情况下在三维环境中直接开展三维设计，由三维设计成果进行设计反馈，稳定设计成果后输出二维图纸。该流程区别于先有二维再完成三维模型创建的传统流程，在传统流程下，模型仅作为设计展示和最终确认用途。

为简化系统复杂度，本系统划分为方案设计和施工图设计两个阶段，不同阶段的关键需求如下:

(1) 方案阶段快速三维正向设计需求。

(2) 施工图阶段参数化、高精度、全构件三维模型需求，该需求服务于项目的全生命周期 BIM。

(3) 不同阶段、不同环境下，数据信息可相互传递，同步获得二三维成果。

整理上述需求，本系统关键需求见图 3。

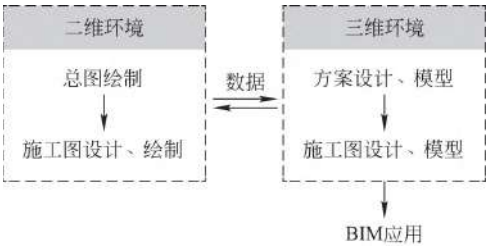


图 3　系统关键需求

Fig. 3　Critical requirements of the system

2.2　系统框架

基于以上关键需求，形成预制钢混组合梁桥设计系统框架，见图 4。由图中可见整体的设计流程，首先由道路专业设计软件(如 EICAD)完成道路设计，并将路线信息传递至三维环境；在三维环境中，由方案设计模块完成方案设计，当方案满足后，将方案信息传递至二维环境总图绘制模块，完成总图绘制。在施工图阶段，可在三维环境施工图模型模块中完成三维设计后，将信息传递至二维环境中完成施工图出图工作；也可在二维环境中由施工图绘制模块完成施工图绘制，再将数据信息传递至三维环境中的施工图模型创建模块，完成精细三维模型的创建。

在三维环境中建立配套的模板库，分别包含方案模板库、施工图模板库和附属结构模板库。模板库包含上述标准化设计中的钢混组合槽梁模板、钢混组合板梁模板、钢混复合桥墩模板、混凝土桥墩模板等内容。模板根据方案设计阶段、施工图设计阶段深度不同。

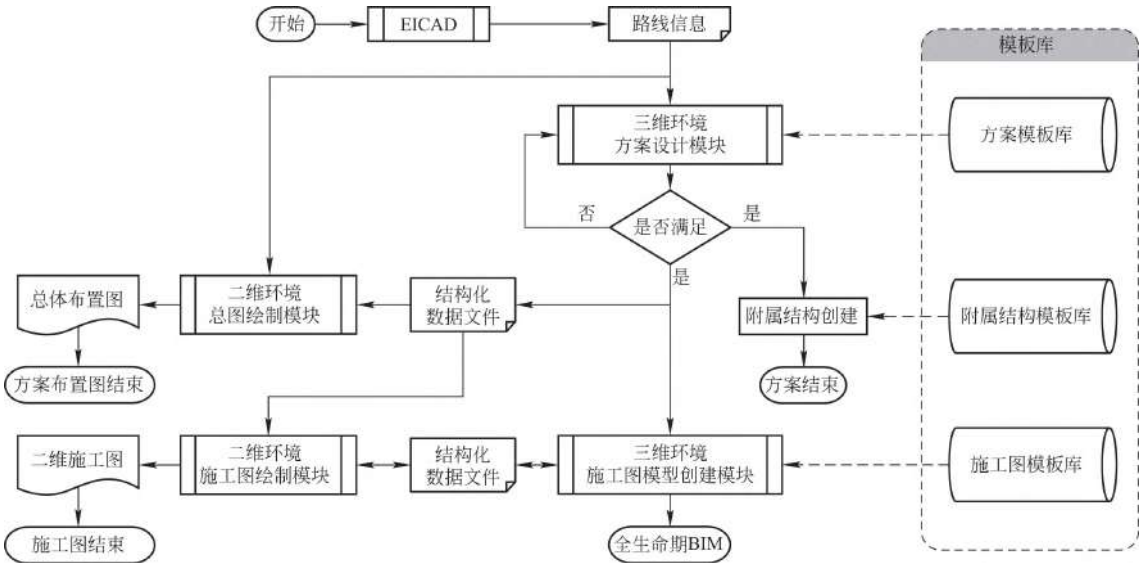


图 4　系统设计

Fig. 4　System design

本研究中的设计系统，在三维设计的同时，可以同步获得三维模型和二维图纸，满足正向设计需求；以数据为中心的基本流程使得模块之间相对独立，模板库可随结构型式的丰富而丰富，因而系统具有较好的可扩展性。

本系统在实际开发过程中，选择 Dassault CATIA

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3DE 作为三维环境的开发软件，Autodesk CAD 和桥梁智绘软件作为二维环境的开发软件。Dassault CATIA 3DE 有强大的复杂造型建模功能和参数化性能[3]，尤其适用于钢结构梁、组合梁的模型创建。桥梁智绘则为桥梁专业二维绘图软件，在 Autodesk CAD 上运行。

2.3 系统特点

2.3.1 多阶段多环境下数据互通

在不同设计阶段、不同设计环境下，数据信息可以相互传递，这种方式强调了数据的重要性，弱化了对基础开发平台的依赖性。由于桥梁设计的强专业性，在现阶段难以找到一款可同时满足三维环境、二维环境需求的基础开发平台。而通过软件间的数据信息交互，可选择更适合各功能模块的基础软件，大大降低了设计系统的开发难度。

在本系统的研发过程中，根据交互软件的不同情况，采用了两种信息交互方式，分别是通过标准交换格式交互和直接交互，见图 5。两种方式的区别在于在两种软件或两种格式间是否需要借助第三方格式(一般为标准交换格式)实现交互过程。其中，BIM 标准交换格式有 IFC 标准、COBie 标准。

当第三方标准是全面和稳定时，推荐采用通过标准交换格式交互，可以减少开发工作且易于维护。如系统中 EICAD 路线数据通过 IFC 标准交换格式无损传递到三维设计环境。

由于现阶段的 IFC 等标准还不足以描述桥梁工程的全部工程信息，对于桥梁专业数据的交互则采用了直接交互方式。如系统中三维模型和二维图纸之间、三维模型和工程量之间的信息交互。同时，对于有限元计算分析，亦通过该方式实现桥梁智绘向桥梁分析软件 midas civil 间的数据信息传递。

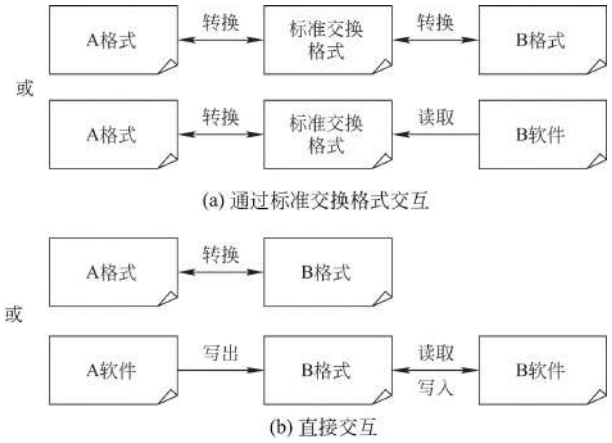


图 5 软件间信息交互方式

Fig. 5 Ways of information exchange between software

2.3.2 多精度递进式三维设计

桥梁工程在设计初期，设计人员通常采用二维线元而不是三维模型进行跨径布置、纵横梁布设等工作，因为二维线元可以快速反馈设计成果，设计人员可以高效地调整设计从而获得更加满意的结果。

基于桥梁工程设计的实际工作流程，本系统采用多精度递进式三维设计方法，根据不同阶段的设计要求，采用不同 LOD 等级的模型，见表 1。该 LOD 等级参考 BIM Forum 发布的《Level of development(LOD) Specification》[4]，从方案设计、初步设计到施工图设计，LOD 等级分别为 LOD200、LOD300 和 LOD350。并在此基础上，在桥梁工程三维设计中首次提出以点、线等二维元素构成的 LOD50 模型，满足设计初期骨架设计中布跨、布梁等设计要求，表达桥梁设计中不可缺少的分孔线、主梁中心线等内容，实现高效设计反馈。

表 1 BIM 模型精细度等级划分

Table 1 Fineness classification of BIM model

模型分级	设计阶段	几何表达精度	说明	钢混组合槽梁模型示例	钢混组合槽梁实例化时间
LOD50	骨架设计	满足二维化或者符号化识别需求	提供坐标定位、构件类型等信息		0.2s
LOD200	方案设计	满足空间占位、基本轮廓及尺寸	以面为主，关键尺寸精确表达		5s
LOD300	初步设计	满足结构受力计算、投资概算	实体单元，无构造细节		42s

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续表

模型分级	设计阶段	几何表达精度	说明	钢混组合槽梁模型示例	钢混组合槽梁实例化时间
LOD350	施工图设计	满足出图、工程计量及施工仿真	实体单元，包含构造细节，如加劲肋、剪力钉		86s

三维模型较二维图像有更丰富的细节表达，同时也占用了较高的计算机硬件资源，不同精度模型的存储空间和自动创建时间呈指数增大，成为影响三维正向设计效率的一个重要因素。通过不同设计阶段创建不同精度模型的递进式三维设计方法，可以一定程度降低因三维几何运算效率低造成的影响。在设计过程中，模型由低精度向高精度不断迭代，提高设计效率，也大大增加了模型和参数的复用性。

2.3.3　基于知识工程的半自动设计

桥梁设计是设计师依据规范要求和设计经验，进行多目标下优化和决策的过程，是一个非常耗时且质量较难保证的过程。计算机辅助设计发展 50 多年来，尤其在近年 BIM 等信息化技术推动下，以参数化方式大大提高了设计的效率和质量，但是并没有从根本上减少设计师的非创造性的重复劳动。为了改善这一问题，在本设计系统研发的过程中，引入知识工程 KBE 的概念，采用 XML 独立知识库、EXCEL 数据库等多种技术路径，通过内嵌设计经验和设计规则，经逻辑判断后确定输入条件对应的设计工况，从而实现半自动化快速设计。

在程序实现上，由三个分层结构组成，最底层为数据层、依次为核心层和界面层，见图 6。其中，数据层为 XML 独立知识库、EXCEL 数据库搭载的各类设计经验、数据模板等；核心层用于提供算法支持，均基于 .NET Framework 平台采用 C#语言编写；界面层用于实现人机交互，采用 WPF 界面框和 MVVM 设计模式。

在本系统中，基于知识工程的半自动化设计主要体现在以下几个方面:

(1) 在给定标准设计参数后可自动完成高架桥梁立面、断面、平面骨架设计，并自适应变宽、斜交、曲线等多种情况。

(2) 在给定适用条件参数后可自动完成高架桥钢混组合槽梁、钢混组合板梁、复合桥墩结构等构造设计和图纸输出，满足相应的跨径、桥宽和荷载的要求。

(3) 在给定工程量模板后，在方案设计阶段，即可提取高架桥梁结构详细工程量，达到精细化算量要求。

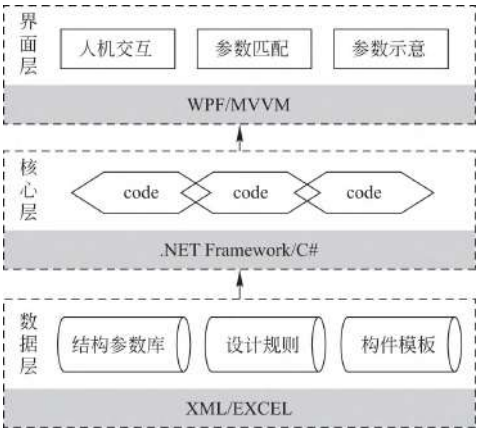


图 6　基于知识工程实现半自动设计的系统架构

Fig. 6　System architecture of semi-automatic design based on knowledge engineering

3　系统功能模块

3.1　路线转换模块

为优化路线数据的二三维交互流程，首次提出以 IFC 4.1 标准为中间格式的路线数据转换方案。通过分析 IFC 标准中的路线信息模型和属性继承关系，及剖析 EICAD 平竖曲线设计文件的线参数，构建 EICAD 线元参数与 IFC 线元属性间的映射关系，最终开发完成转换程序[7]，见图 7。

该模块可实现二三维路线数据的无缝衔接，一方面避免了二三维场景内重复的路线绘制工作，提高工作效率；另一方面也确保了路线数据的精度，较为完整地还原了路线信息。

3.2　三维设计模块

3.2.1　方案设计阶段

在方案设计阶段，通过 LOD50 精细度的二维线元进行高架桥骨架设计，然后再完成构件 LOD200 精细度的三维实体创建。

三维方案设计模块设计见图 8。通过标准断面自适应、变宽自适应、曲线自适应、斜交自适应、下部结构自适应等设计逻辑和原则的内嵌，可以实现高架桥方案的快速设计。限于篇幅，本文对较有特色的变宽自适应和曲线自适应原则进行介绍。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

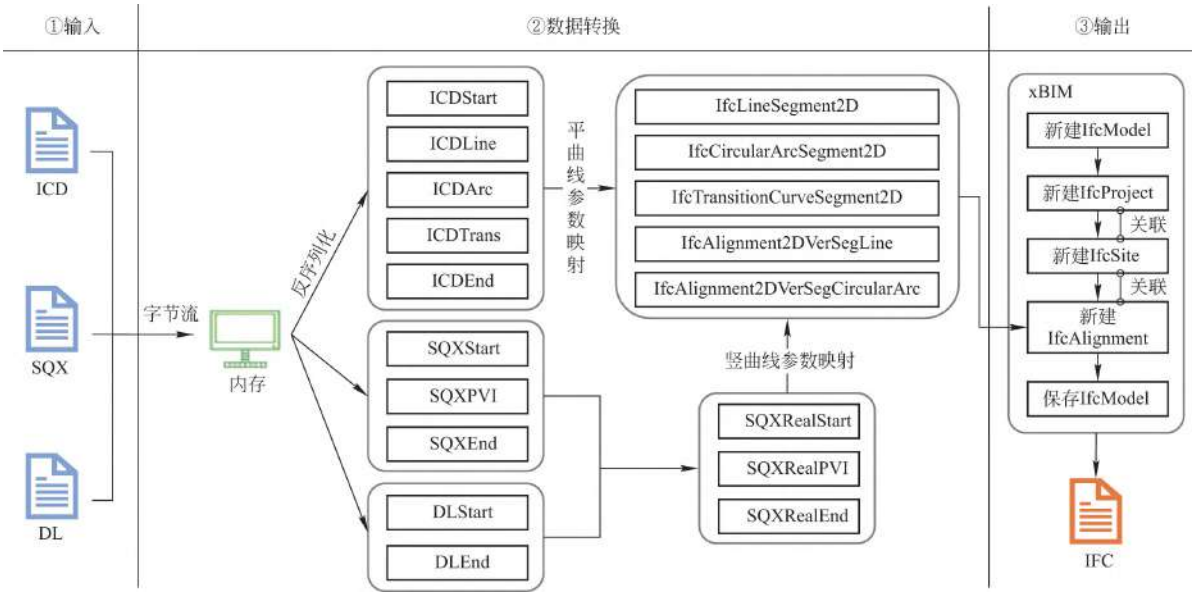


图 7 路线数据转换程序的模块设计

Fig. 7 Modular design of route data conversion program

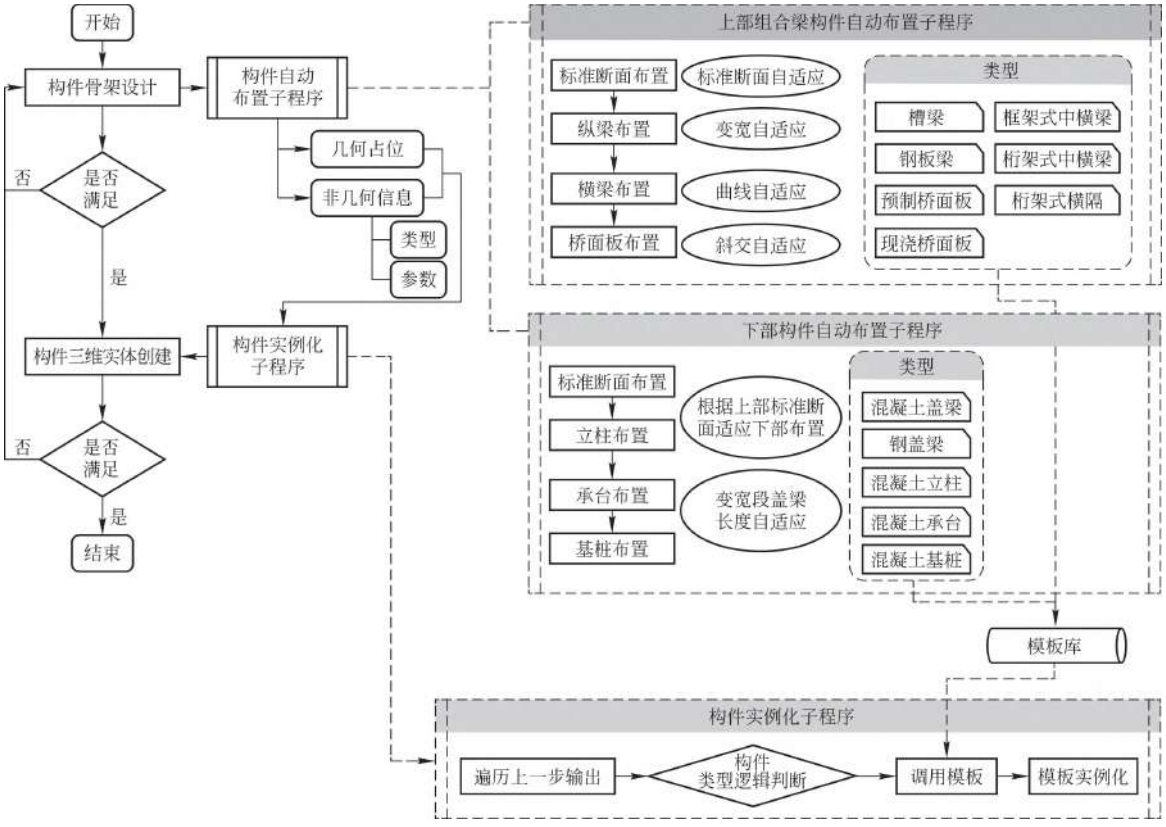


图 8 方案设计阶段程序模块设计

Fig. 8 Program module design in the schenme design phase

(1) 变宽自适应

为了设置集散车道和辅助车道，城市高架桥中频繁出现变宽段，且在项目中占有较大比例。设计中通常采用扇形变宽(图 9(a))和插梁变宽(图 9(b))两种方式处理。从标准化角度考虑，推荐采用插梁变宽方式，插梁变宽基本原则为：①变宽段尽可能延续标准段主梁布置，最大限度满足构件标准化；②根据腹板间距判断插入工字梁或槽型梁，并判断腹板最小间距和最大间距是否满足预设的要求。变宽自适应流程见图 10。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(2) 曲线自适应

城市高架桥总是存在道路平曲线，为实现平曲线段结构标准化目的，按“两个直线预制”的原则进行设计，即纵向标准化钢梁和横向构件直线预制。当纵梁通过以弦代弧适应平曲线后，限制边梁桥面板悬臂长度在合理范围内。曲线自适应流程见图 11。该程序判断了该曲线段是否能够以直代曲，及能够以直代曲时所有中梁向凹侧需要平移的距离。

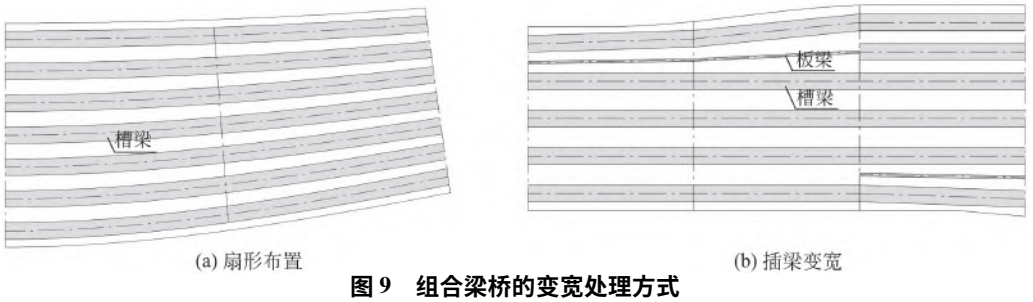


图 9　组合梁桥的变宽处理方式

Fig. 9　Widening method of composite girder bridge

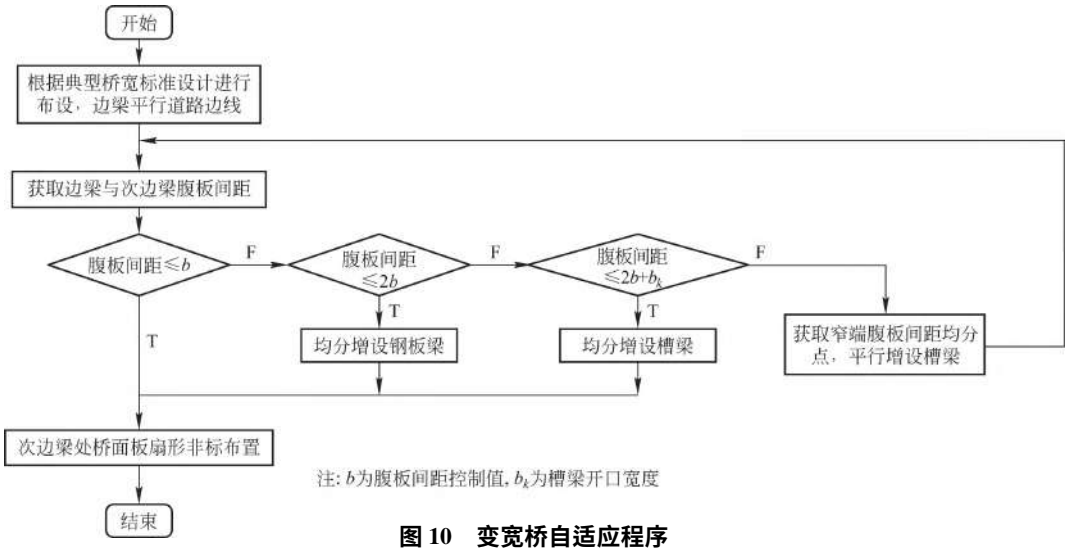


图 10　变宽桥自适应程序

Fig. 10　Widening bridge adaptation procedure

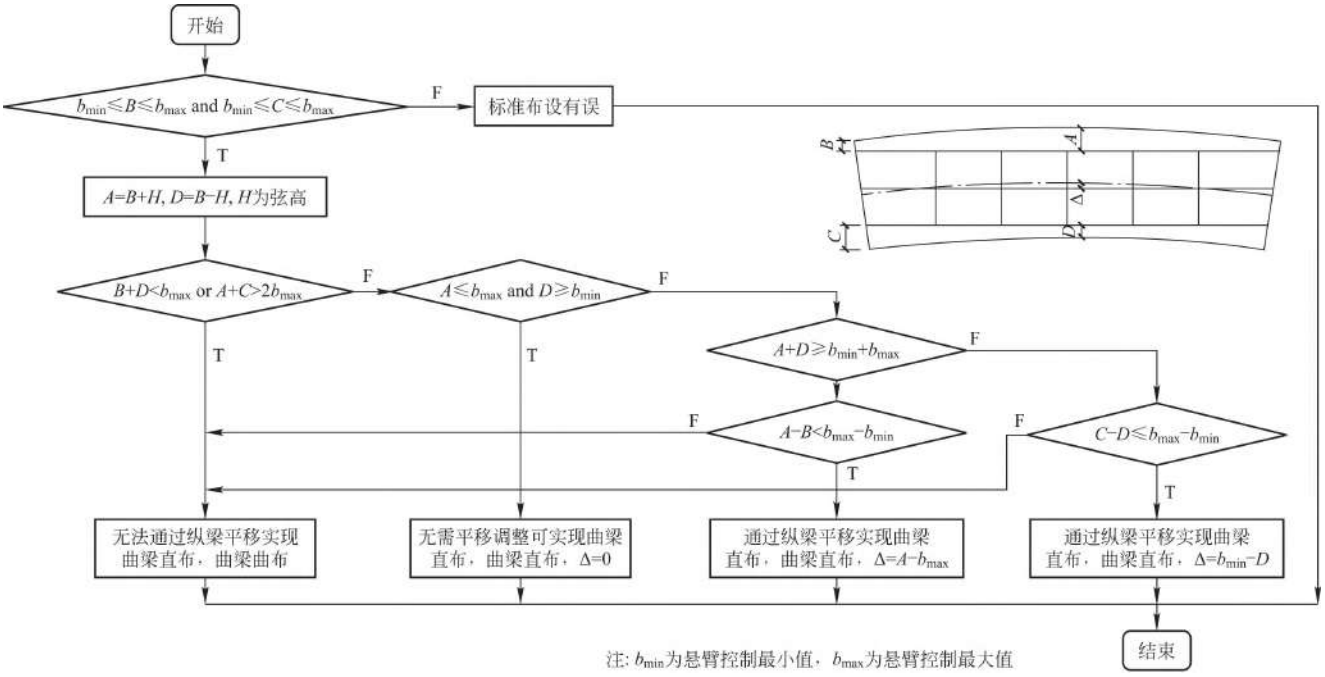


图 11　曲线桥自适应程序

Fig. 11　Curve Bridge adaptation procedure

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.2.2 施工图设计阶段

在施工图设计阶段，通过建立 LOD350 模型，完成施工图深度的三维设计。结合 LOD350 的要求，首先需对结构进行拆分。以上部钢混组合梁中栓接连接槽梁、预制桥面板构造为例，其施工图设计阶段的模型零件层级拆分见图 12。将构件按纵梁组、横梁组、横隔组、桥面板组和剪力钉组 5 大类拆分。单根纵梁拆分为顶板单元、腹板单元、底板单元和栓接接头，各板单元又拆分为主体板件和加劲，并根据不同厚度、规格进一步拆分。

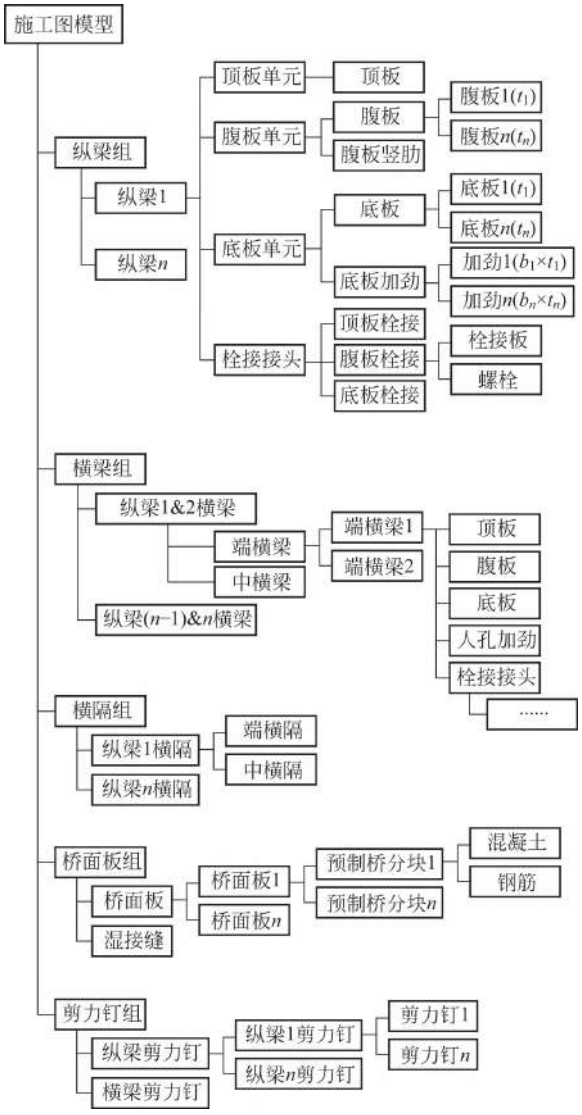


图 12 组合梁施工图模型零件层级

Fig. 12 Part hierarchy of steel-concrete composite girder BIM model for construction drawing phase

依据零件拆分结构，通过开发完成的程序，可以实现施工图深度的模型创建。对于上部组合梁支点支撑结构、下部复合桥墩钢混结合部位等特殊节点区域，亦在本阶段实现 LOD350 等级模型。

3.2.3 模板及模板库

从图 8 可知，三维设计模块中需要模板库的支持，包括方案模板库、施工图模板库和附属结构模板库。在 CATIA 3DE 三维软件中，方案构件和附属构件的模板采用 UDF 类型模板，施工图深度的模板采用工程模板和 UDF 模板结合的方式完成。在 CATIA 3DE 三维软件中，无需进行代码编写即可创建和完善模板，有利于模板的扩展。

创建完成的模板通过自研模板库管理程序实行分类管理。模板库除了对模板进行管理外，也对模板内的输入条件和参数进行管理。

3.3 二维参数化施工图模块

传统的标准图集的做法是选择几组典型参数进行图纸绘制，设计时尽量适配典型参数。而由参数化程序生成的施工图具有更多的变化，能适应更多的特殊情况。

桥梁结构不同工况下的典型参数组通过数据文件进行存储。使用时根据参数值，选择某一组预设好跨径、桥宽、结构型式的数据文件，读入参数化界面，执行施工图创建程序即可自动创建二维施工图。亦可在参数化界面中修改参数，形成新的参数组，并将修改形成的新参数组存储以丰富知识经验库，见图 13，这也是知识工程应用的一个重要方面。

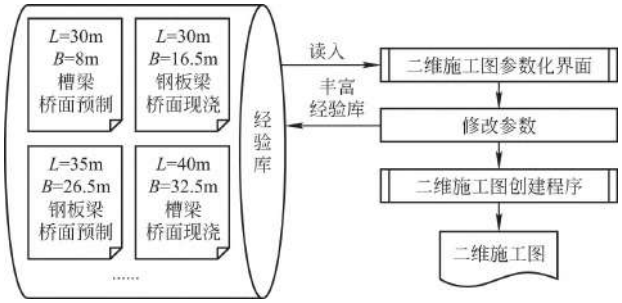


图 13 二维施工图经验库的使用和丰富

Fig. 13 Use and enrichment of 2D construction drawing experience library

3.4 工程量统计模块

三维模型中可以较为方便地获取结构的关键参数，进而计算工程量、涂装面积、标准化率等内容。本系统在二维环境、三维环境中均可完成工程量统计，在三维环境下还分别对方案阶段和施工图阶段进行工程量统计，主要材料的统计方法见表 2。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　工程量统计方法

Table 2　Statistical methods of engineering quantities

序号	统计方法	材料	
		钢结构	混凝土
①	方案阶段三维环境工程量统计	通过关键参数调整构件明细模板计算	通过三维模型测量
②	施工图阶段三维环境工程量统计	逐钢板获取尺寸计算	通过三维模型测量
③	施工图阶段二维环境工程量统计	逐钢板获取尺寸计算	通过公式计算

由于方案阶段模型是简化的模型，采用了基于设计经验的统计方法，具体步骤为：①基于经验完成工程量数据模板，该数据模板由关键参数控制；②获取方案模型的关键参数，并调用相应数据模板修改关键参数以获得工程量。这种方法依赖于工程经验的准确度，当工程经验的准确度较高时，将大大优于按面积指标估算的精确度，当然这需要不断地积累和修正。

对工程而言，工程量是敏感和重要的。本系统在施工图阶段，分别通过二维和三维获得的结果，可相互验证，进一步提高工程量统计结果的可信度。同时，三维环境下获得的钢结构净量，可为工程提供损耗量参考。

为了验证本系统工程量结果的准确性，以 30m 跨、35.5m 桥宽的单跨钢混组合槽梁工程量为例进行比较，结果见表 3。可以认为，通过逐钢板获取尺寸计算的用钢量、通过三维模型测量获得的混凝土量，即表 3 中加粗下划线值接近真值。三种方式两两比较可知，方案阶段和施工图阶段工程量最大误差分别为 7.95%和 4.94%，分别低于估算误差的 10%和预算误差的 5%，可以认为工程量结果可信。

表 3　工程量统计结果差异

Table 3　Differences in the statistical results of engineering quantities

材料	①方案阶段三维	②施工图阶段三维	③施工图阶段二维	①②差异	①③差异	②③差异
钢结构(t)	98.4	**106.9**	**101.9**	−7.95%	−3.41%	4.94%
混凝土(m^3)	**208.1**	**207.1**	200.9	0.48%	3.58%	3.08%

4　系统验证

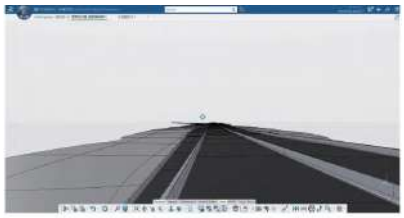
4.1　工程概况

为了验证系统的可行性和实用性，选取实际工程项目进行试设计。实际工程项目为快速通道工程，试设计范围 3.896km。上部采用组合梁结构形式，下部采用钢盖梁复合桥墩形式。对简支跨，按照简支组合梁完成设计；对连续跨，则按照连续组合梁完成设计。三维环境中完成的方案设计效果见图 14、图 15。方案阶段、施工图阶段完成的上部组合梁三维模型见图 16，下部钢混复合桥墩见图 17，施工图阶段三维模型细节见图 18，二维施工图见图 19。



图 14　方案试设计立面(部分范围)

Fig. 14　Near elevation of scheme trial design



(a) 桥上视角



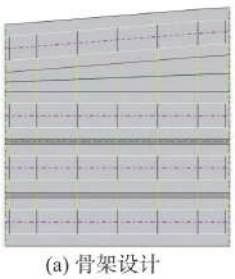
(b) 匝道上桥视角



(c) 桥下视角

图 15　方案试设计效果

Fig. 15　Effect of scheme trial design



(a) 骨架设计



(b) 方案阶段三维模型

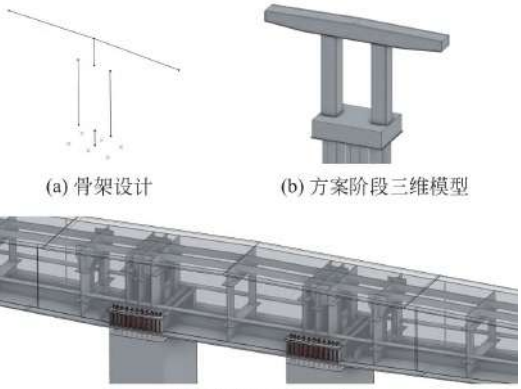
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(c) 施工图阶段三维模型

图 16 单跨简支组合梁三维模型(插板变宽)

Fig. 16 3D model of a single-span simply supported composite girder (widening by inserting plates girder)



(a) 骨架设计 (b) 方案阶段三维模型

(c) 施工图阶段三维模型

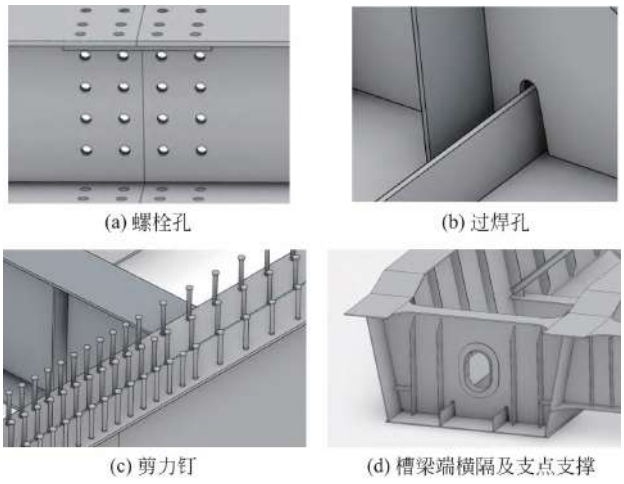
图 17 钢混复合桥墩三维模型

Fig. 17 3D model of steel-concrete composite pier

4.2 验证效果

通过上述项目的试设计，验证了通过本设计系统可以实现由三维先行展开的正向设计流程。通过本设计系统，可在方案设计阶段，快速获得 LOD200 级别的城市高架预制钢混组合梁桥方案设计成果模型，该模型可展示设计方案和组合梁桥空间形态，以辅助方案决策；在施工图设计阶段，可获得 LOD350 级别的施工图设计成果模型，该模型既是设计意图的三维直观呈现，也是全生命周期 BIM 的基础模型。通过本设计系统，由数据文件实现了三维模块和二维模块的交互，实现了方案阶段的总体布置图和施工图阶段的二维施工图的快速绘制。因而该系统是可行且实用的。

在设计效率方面，经试设计验证，采用该设计系统完成三维设计和二维出图的正向设计方式，方案阶段和施工图阶段的设计效率均明显高于传统设计方式。设计效率的提升主要来源于程序出图替代了传统设计中的手工出图，因而节约了大量制图时间。而三维设计的效率，受制于三维软件中的模型创建效率，较预期欠佳。但三维设计提供了比二维更直观的设计反馈、比图纸更具象的 BIM 模型，如图 14～图 18，从这个角度来看，增加的时间仍然是可接受的。

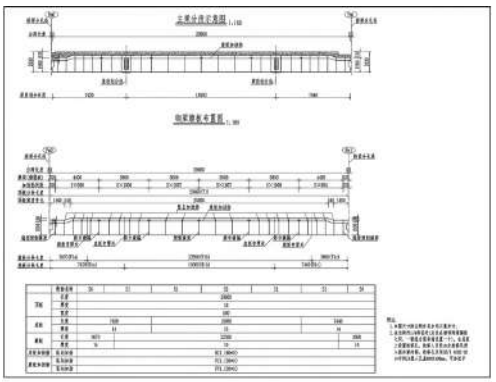


(a) 螺栓孔 (b) 过焊孔

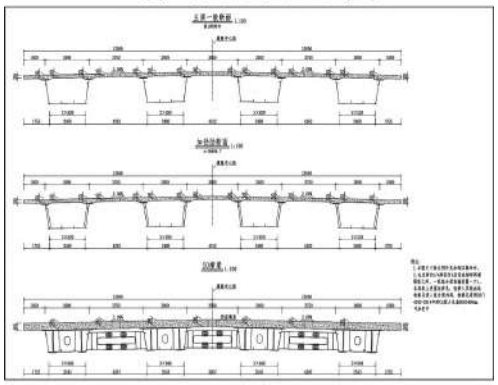
(c) 剪力钉 (d) 槽梁端横隔及支点支撑

图 18 施工图模型细节

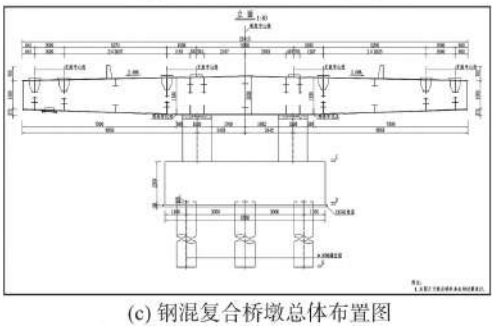
Fig. 18 Details of construction drawing model



(a) 组合梁总体布置图(一)



(b) 组合梁总体布置图(二)



(c) 钢混复合桥墩总体布置图

图 19 二维施工图

Fig. 19 2D construction drawing

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5 结　论

为适应城市桥梁建设信息化和工业化的发展，本文立足于实际需求，以快速施工的城市高架预制钢混组合梁桥为背景，引入 BIM 技术，提出基于知识工程的多精度递进式三维设计方法，研发城市高架预制钢混组合梁桥正向设计系统。

与现有 BIM 软件、BIM 系统相比，该系统主要有 3 个特点，①前者往往将二三维统一在一个平台内，本系统以数据为中心，二三维采用不同平台，多软件之间信息交互的方式降低了开发难度，保持了模块独立性，也使得系统具有良好的可扩展性；②前者多在设计伊始即采用三维模型，本系统则采用多精度递进式三维设计，从骨架设计开始渐进深化设计，模型由低精度向高精度不断迭代，获得高效反馈的同时，也大大增加了模型和参数的复用性；③前者通常难以兼具专业性与灵活性，本系统通过基于知识工程的半自动设计，在保障专业性的同时，可快速完成各类情况下的组合梁桥设计，大大提高了设计效率和质量。本系统研发，为其他桥梁结构 BIM 系统提供了可行的技术路线。

最后通过实际工程项目，验证了本系统的可行性和实用性。随着行业信息化、数字化的发展，本系统可以为城市高架桥梁项目的全生命周期 BIM 应用发挥更大的作用。

参 考 文 献

[1] 项贻强，竺盛，赵阳. 快速施工桥梁的研究进展[J]. 中国公路学报，2018，31(12)：1-27 (Xiang Yiqiang，Zhu Sheng，Zhao Yang. Research and development on accelerated bridge construction technology[J]. China Journal of Highway and Transport，2018，31(12)：1-27 (in Chinese))

[2] 《中国公路学报》编辑部. 中国桥梁工程学术研究综述·2021[J]. 中国公路学报，2021，34(2)：1-97 (Editorial Department of China Journal of Highway and Transport. Review on China's bridge engineering research：2021[J]. China Journal of Highway and Transport，2021，34(2)：1-97 (in Chinese))

[3] 袁胜强，欧阳君涛，刘钊. 基于 3D Experience 平台的市政交通 BIM 系统的研发及应用[C]//第三届全国 BIM 学术会议论文集. 北京：中国建筑工业出版社，2017

[4] 胡振中，陈祥祥，王亮，等. 基于 BIM 的管道预制构件设计技术与系统研发[J]. 清华大学学报：自然科学版，2015，55(12)：1269-1275 (Hu Zhenzhong，Chen Xiangxiang，Wang Liang，et al. BIM-based design method for prefabricated pipeline components[J]. Journal of Tsinghua University：Science and Technology，2015，55(12)：1269-1275 (in Chinese))

[5] 张金辉，张其林，刘金典. 基于 BIM 的装配式建造信息系统研究[J]. 土木建筑工程信息技术，2020，12(3)：22-30 (Zhang Jinhui，Zhang Qilin，Liu Jindian. Research on BIM-based information system for prefabricated construction[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture，2020，12(3)：22-30 (in Chinese))

[6] BIM Forum. Level of development (LOD) specification[EB/OL]. (2021-12) [2022-08-24]. https://bimforum.org/resource/

[7] 曹炳勇，施新欣. 基于 IFC 4.1 标准的 EICAD 路线数据转换方法[J]. 清华大学学报：自然科学版，2022，62(2)：321-330 (Cao Bingyong，Shi Xinxin. Conversion of EICAD route data based on the IFC 4.1 standard[J]. Journal of Tsinghua University：Science and Technology，2022，62(2)：321-330 (in Chinese))

施新欣(1981—)，女，硕士，高级工程师。主要从事桥梁工程设计和研究。

陈莎莎(1992—)，女，硕士，工程师。主要从事桥梁工程设计和研究。

崔小建(1991—)，男，学士，工程师。主要从事建筑信息化方面的研究。

曹炳勇(1994—)，男，硕士，助理工程师。主要从事建筑信息化方面的研究。

曹　沛(1990—)，女，硕士，工程师。主要从事桥梁工程设计和研究。

马天乐(1981—)，男，学士，高级工程师。主要从事建筑信息化方面的研究。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net